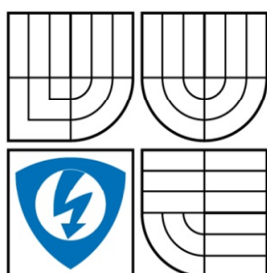


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŘÍZENÉ VYTÁPĚNÍ KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU

THE CONTROLLED HEATING OF COMPOSITES MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN FAJKUS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL ŠTEFFAN, PH.D.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Fajkus

Bytem: Wolkerova 830, Frýdek - Místek

Narozen/a (datum a místo): 7,6,1986 ve Frýdku - Místku

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ústav:

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- | | | |
|---|---|-----------------------|
| <input type="checkbox"/> tištěné formě | – | počet exemplářů |
| <input type="checkbox"/> elektronické formě | – | počet exemplářů |

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Předpokládána práce se zabývá problémem řízeného vytápění kompozitního materiálu pro venkovní použití. Základem práce je analýza předložených betonových vzorků kompozitu. Zjištění vlivu stejnosměrného a střídavého napětí na předložené vzorky a volbu měřicí metody. Správnou volbou měřicí metody, bylo možno změřeni všech vzorku. Z porovnání byly vybrány vzorky kompozitního materiálu, které jsou vhodné pro další použití. Pro vybrané vzorky kompozitního materiálu byla navržena podle jejich parametru optimální řídicí jednotka pro vytápění a temperování.

Abstract:

Expected work solves problem of controlled heating of composite material for outdoor application. Basement of work is analysis of submitted concrete specimen of composite. Then I find out influence of direct and alternating voltage on submitted specimen and I choose method of measurement. Whereas I chose correct method of measurement, I could measure all specimens. From comparing I chose specimen of composite material, which are suitable for a next application. For chosen specimen of composite material I designed control unit for heating and tempering. The control unit was designed according to their parameter.

Klíčová slova:

Kompozity, vytápění, temperování.

Keywords:

Composite, heating, tempering.

Bibliografická citace díla:

FAJKUS, M. *Řízené vytápění kompozitního materiálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. 5. 2008

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů bakalářské práce .

OBSAH

1	ÚVOD:	11
1.1	SAMOZHŘÍVACÍ SLOUČENINY CEMENTU:	12
1.2	SAMOZHŘÍVACÍ SLOUČENINY POLYMERŮ:	15
1.3	SROVNÁNÍ SAMOZHŘÍVACÍCH KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLU:	17
2	ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA:	20
2.1	VZORKY, KTERÉ MÁM K DISPOZICI A JEJICH POUŽITÍ:	20
2.2	MĚŘENÍ KAPACITY NA VZORCÍCH:	22
2.3	MĚŘENÍ IMPEDANCE NA VZORCÍCH:	23
2.3.1	<i>Metoda měření:</i>	23
2.3.2	<i>Vlastní měření:</i>	24
2.3.3	<i>Porovnání všech naměřených vzorků:</i>	25
2.3.4	<i>Výpočty, které jsem použil pro impedanci z napětí</i>	28
2.3.5	<i>Měření impedance na namočeném betonu a porovnání se suchým:</i>	28
2.3.6	<i>Shrnutí naměřených a vypočtených hodnot:</i>	30
3	NÁVRH ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY PRO VYTÁPĚNÍ A TEMPEROVÁNÍ	31
3.1	VOLBA MIKROPROCESORU	31
3.2	KONSTRUKCE ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	32
3.3	FUNKCE ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY:	35
4	ZÁVĚR:	36
5	POUŽITÁ LITERATURA:	37
6	PŘÍLOHY:	38

Soubor použitých obrázku v textu:

Obr. 1: Změna teploty v závislosti na čase. Zahřívání a chladnutí betonu s příměsí ocelového drátu o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6W.....	14
Obr. 2: Závislost efektivity na čase při rostoucím teple vlákna oceli o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6W. Efektivita přeměny elektrické energie stoupá, až dosáhne 100%.....	15
Obr. 3: Matice uhlíkových vláken polymeru – maticového složení zahrnujících 2 diagonálních plátů.....	16
Obr. 4: Fotka vzorku analyzovaného kompozitního betonu	21
Obr. 5: Schéma zapojení multimetru při měření kapacity.....	22
Obr. 6: Schéma zapojení měření impedance za pomoci 3 voltmetru.....	23
Obr. 7: Schéma zapojení při měření impedance pomocí osciloskopu.....	24
Obr. 8: Blokové schéma mikroprocesoru PIC 16F876A	31
Obr. 9: Schéma zapojení řídicí jednotky	33
Obr. 10: DPS navržené řídicí jednotky	34
Obr. 11: 1 - výstup z PWM modulace na mikroprocesoru, 2 - výstup ze zesilovače TDA 1554Q po zesílení signálu.....	34

Soubor použitých tabulek v textu:

Tab. 1: Účinnost vlastního ohřevu z teploty 19°C a potřebné výkony k dosažení nejvyšší teploty.	19
Tab. 2: Tabulka vzorku s vláknovou příměsí, koncentrace příměsí a typy vzorku	21
Tab. 3: Tabulka vzorku s práškovou příměsí, koncentrace příměsí a typy vzorku	22
Tab. 4: Porovnání naměřených hodnot vzorku kompozitního betonu.....	26
Tab. 5: Změřená kapacita na všech vzorkách.....	40
Tab. 6: Naměřených hodnot pro vzorek NKP(13) 10.....	41
Tab. 7: Naměřené hodnoty pro vzorek NKK(4) 40B namočený.....	41

Soubor požitých grafů v textu:

Graf 1: Srovnání vzorku NKK(4) 10B, NKK(4) 10C, NKG(9) 10, NKP(13) 10	27
Graf 2: Impedanční závislost na frekvenci vzorku NKP(13) 10	27
Graf 3: Závislost impedance na frekvenci pro vzorek NKK(4) 40B-namočený.....	29
Graf 4: Porovnání impedance na suchém a mokřém vzorku NKK(4) 40B.....	29
Graf 5: Porovnání všech naměřených vzorku	38
Graf 6: Porovnání všech naměřených vzorku tloušťky 40 mm.....	39
Graf 7: Porovnání všech naměřených vzorku tloušťky 10 mm.....	39

1 Úvod:

V dnešní době se hodně diskutuje o maximálním využívání energii. Domácí spotřebiče a další spotřební elektronika, se dneska vyrábí s co největší energetickou účinností. Tedy to znamená, aby se energie, především elektrická, využívala co nejefektivněji a nejehospodárněji.

Tento trend se dneska uplatňuje, i na vytápění budov. Další oblasti je rozpouštění sněhu a ledu v leteckém průmyslu, například na rozmrazování leteckých drah a přístupových cest k nim. Dále se využívá například rozpouštění ledu a sněhu na chodnících a cestách. Sníh z letištních ploch, chodníků, cest a dalších věcí se dá odstraňovat pomocí lidské práce, například pomocí lopat, nebo pomocí speciální motorizované techniky. Takovou to techniku je, ale potřeba obsluhovat a navíc je technika poměrně drahá. Navíc po odklizení sněhu a ledu touto metodou zůstávají na povrchu zbytky sněhu a především ledu. Takovéto zbytky jsou nežádoucí.

U vytápění budov se nejvíce diskutuje o energetické účinnosti takového vytápění. Konvenční vytápění je uděláno, buď za použití funkčních materiálu jakým je například kov (požadavky na kov jsou velké délky kovového drátu, kvůli nízkému měrnému odporu kovu), nebo použití systému (například vzdušné tepelné systémy), které jsou vně konstrukčního materiálu. Za účelem jednotného tepla v prostoru a zjednodušení designu, je výhoda zakomponovat do daného objektu vytápění s velkou energetickou účinností. Pro to je výhodné použít konstrukční materiály pro samotné vytápění. Tedy konstrukční materiály, které vytápějí samy sebe, za pomoci přeměňování jiné energie na teplo (většinou elektrické energie). Takovéto konstrukční materiály se tedy nazývají samozahřívací. Dominantním konstrukčním materiálem jsou zde sloučeniny na bázi cementu vyvinuté pro budovy a nepřetržitě vlákno složené z polymerů a vodivostních příměsí do polymerové matice, vyvinuté pro kategorii lehkých struktur, například pro použití v leteckém průmyslu.

Získávat tepelnou energii z energie elektrické jde dvěma způsoby. Odporovým ohřevem (jouleovo teplo) a indukčním ohřevem. Tepelná energie se získává za použití elektrických tepelných čerpadel, plazmy a laseru. Musíme rozeznávat tepelnou energii získanou, ze slunečních kolektorů a tepelnou energii získanou za použití fosilních paliv jako je uhlí, topný olej, zemní plyn. Teplo získané z fosilních paliv má, ale ekologický dopad na planetu, jako je skleníkový efekt a globální oteplování. Používání solárních kolektorů je

problémové díky vysoké pořizovací ceně za solární panely na vytápění a díky ne vždy vhodným podmínkám pro použití solárních panelů (v našich podmínkách je jen jako doplňkový systém vytápění). Díky těmto faktorům se elektrické teplo stává víc a víc využíváno na vytápění. Elektrická tepelná čerpadla jsou tedy hodně rozšířena k vytápění budov. Naopak odporový ohřev je jen doplňkovou metodou získávání tepla s elektrické energie, které se v poslední době věnuje víc a víc odborníku.

Elektrickým odporovým ohřevem se tedy ve svojí práci budu zabývat. Elektrický odporový ohřev pracuje na principu, kdy elektrický proud prochází skrz odporový materiál, tento materiál klade průchodu proudu odpor a v tomto důsledku se materiál zahřívá. Pokud jde o budovy, cesty, chodníky je elektrický odporový ohřev implementován jako vložený topný článek do konstrukčního materiálu, ze kterých je tento objekt utvořen, například beton. Materiál, ze kterého je topný článek vyroben, musí mít určitý měrný elektrický odpor, jelikož tímto odporem je dán elektrický proud procházející topným článkem a pokud by byl měrný elektrický odpor moc malý, mělo by to za následek vysoký proud. Takovýto proud by byl zbytečně vysoký a komplikovaně dosažitelný. Byl by tedy problém dosáhnout zadaného vytápěcího výkonu. A naopak pokud by měl měrný elektrický odpor velký odpor, byl by elektrický proud moc malý, a bylo by potřeba vysokého napětí, aby byl schopen topný článek, poskytnout požadovaný výkon.

Materiály pro topné články zahrnují slitiny kovů (jako nikl - chrom), keramiky (jako karbit křemíku), grafit, polymerové maticové směsice, karbon – karbonové složeniny, asfalt a beton.

Elektrický odporový ohřev se používá nejen na získávání tepla, jako například na rozmrazování můstkových palub, příjezdové cesty k domu, ranveje pro letadla, chodníky. Požití elektrického odporového ohřevu se taky hojně využívá při svařování plastů.

1.1 Samozahřívací sloučeniny cementu:

Konvenční běžný beton je elektrický vodivý, ale jeho elektrický měrný odpor je příliš vysoký na to, aby se dal použít pro elektrický odporový ohřev s dostatečnou účinností. Měrný elektrický odpor může být snížen za pomoci elektrických vodivých příměsí nebo kameniva, jako nesouvislá uhlíková vlákna, nesouvislá ocelová vlákna, nebo hobliny a grafit. Snížení měrného elektrického odporu lze také provést za pomoci použití alkalické struktury pojiva. Efektivní metoda ke zmenšení měrného elektrického odporu je jen jedna a to použít vodivou

příměs v objemu daného materiálu za mezí propojení. Propojení rozumíme, jako vytvoření nepřetržité vodivé cesty, na základě dotyku přilehajících vodivých článkem nebo složek.

Naším cílem je zhodnotit efektivitu vedení elektrického proudu samozahřívací sloučeninou cement – maticové složení pro elektrický odporový ohřev. Tyto směsice mají měrný elektrický odpor menší než běžné konvenční betony, kvůli dosažení propojení vodivých příměsí.

Kvůli výjimečně nízkému měrnému elektrickému odporu ($0,85 \text{ } \Omega\text{cm}$) dosažený použitím $8 \mu\text{m}$ průměru ocelového vlákna v cementu, je účinnost přeměny elektrické energie na teplo výjimečně vysoká. Pro sloučeninu cementu s danými vlákny oceli, má po přivedení stejnosměrného výkonu o velikosti $5,6 \text{ W}$ (tj. $7,1 \text{ V}$ a $0,79 \text{ A}$) za následek vyvinutí maximální teploty $60 \text{ }^\circ\text{C}$ z počáteční teploty $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Za čas 6 minut se dosáhlo $39,5 \text{ }^\circ\text{C}$, tedy poloviny maximálního zvýšení teploty.

Závislost teploty na čase při dodávání konstantního výkonu je znázorněna na obr. 1. Efektivita, která je znázorněna na obr. 2, přeměny elektrické energie na tepelnou se zvětšovala s dobou ohřevu a dosáhla $100 \text{ } \%$ po 50 minutách. Tepelná síla jednotkového výkonu dosažená vlákny oceli v betonu byla 750 Wm^2 , ve srovnání s 340 Wm^2 pro kovový drát mající stejný odpor. Kvůli přítomnosti vláken oceli, jsou technické vlastnosti nad vlastnostmi běžného konvenčního betonu.

Na rozdíl od ocelových vláken je pro uhlíkové vlákno, které obsahuje $1 \text{ } \%$ v objemu betonu měrný elektrický odpor $104 \text{ } \Omega\text{cm}$. Elektrický výkon přivedený na sloučeninu o velikosti $1,8 \text{ W}$ (28 V a $0,065 \text{ A}$) na tuto strukturu, má za následek dosáhnutí maximální teploty o velikosti $56 \text{ }^\circ\text{C}$ z počáteční teploty $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Za čas roven 256 s (což je $4,25$ minuty) dosáhne poloviny maximálního zvýšení teploty, tedy zvýší teplotu na $37,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Nevýhodou u vláken uhlíku je vysoké napájecí napětí 28 V vůči napájecímu napětí 7 V pro případ ocelových vláken ve sloučenině. Nevýhoda je kvůli netypickému napájecímu napětí. Realizace zdroje je ještě horší pro částičky grafitu ($37 \text{ } \%$ v objemu betonu) a jeho měrná elektrická vodivost je $407 \text{ } \Omega\text{cm}$.

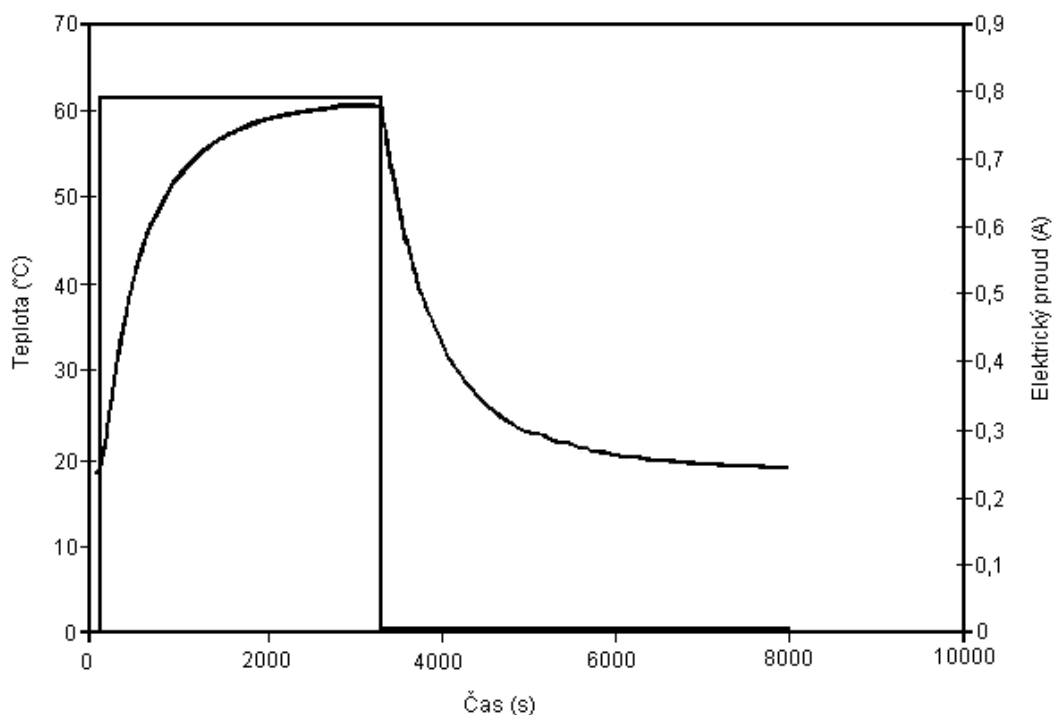
Vlákno oceli, které bylo dříve zmiňované má průměr jen $8 \mu\text{m}$. Vlákno oceli většího průměru například $60 \mu\text{m}$ je mnohem méně účinné ve snižování měrného elektrického odporu běžného konvenčního betonu, a je tedy méně vhodný pro vytápěcí struktury.

Například vlákna z oceli o průměru $8 \mu\text{m}$ a $0,54 \text{ } \%$ koncentraci v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $23 \text{ } \Omega\text{cm}$, zatímco vlákna oceli o průměru $60 \mu\text{m}$ a $0,50 \text{ } \%$

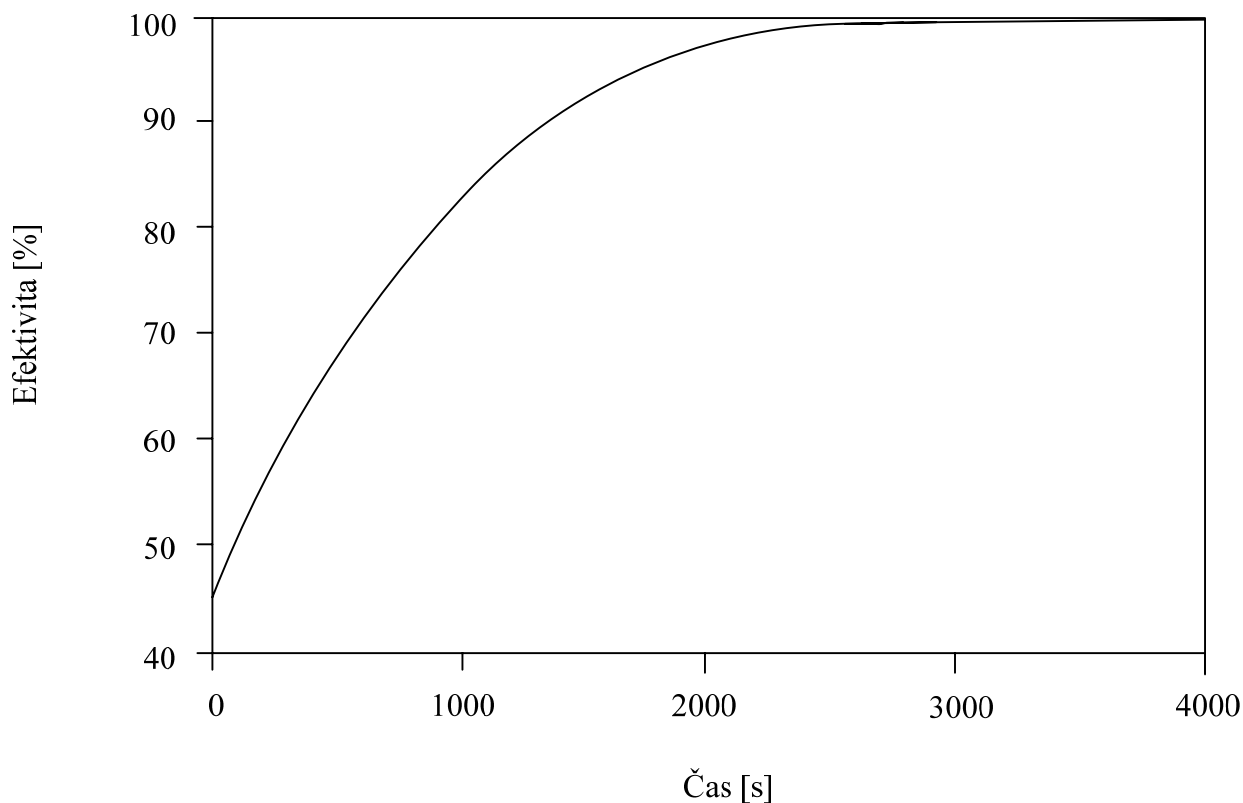
koncentrací v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $1,4 \cdot 10^3 \Omega \text{cm}$. A vlákna z oceli o průměru $8 \mu\text{m}$ a $0,36 \%$ koncentraci v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $57 \Omega \text{cm}$, zatímco vlákna oceli o průměru $60 \mu\text{m}$ a $0,40 \%$ koncentrací v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $1,7 \cdot 10^3 \Omega \text{cm}$.

Alternativní technologie výroby betonů zahrnuje používání hoblin oceli ($0,15 \text{ mm}$ až $4,75 \text{ mm}$ velikost částice) spolu z malých průměrů vláken uhlíkové oceli vytvoří vodivou směs. Použití 20% koncentrace ocelových hoblin v objemu betonu, spolu ze $1,5 \%$ koncentrací uhlíkových ocelových vláken v betonu má za následek, že měrný elektrický odpor je v rozmezí $75 \Omega \text{cm}$ až $100 \Omega \text{cm}$. Měrný elektrický odpor se za zvyšujícího času zvětšuje, až dosáhne po 6 měsících $350 \Omega \text{cm}$, pravděpodobně kvůli rozežírání hoblin oceli a vláken uhlíkové oceli. Vysoký měrný elektrický odpor a zvyšování měrného elektrického odporu v závislosti na čase je, nevhodné pro jeho používání v praxi.

Pokud ale použijeme vlákna nerezové oceli ($8 \mu\text{m}$ v průměru a $0,7 \%$ koncentrace v betonu). Beton má nízký měrný odpor $0,85 \Omega \text{cm}$ a jeho měrný elektrický odpor je stabilní v průběhu času. Navíc nepotřebuje zvláštní zařízení či procedury při výrobě.



Obr. 1: Změna teploty v závislosti na čase. Zahřívání a chladnutí betonu s příměsí ocelového drátu o průměru $8 \mu\text{m}$ a měrném elektrickém odporu $0,85 \Omega \text{cm}$ při napájecím výkonu $5,6 \text{ W}$.



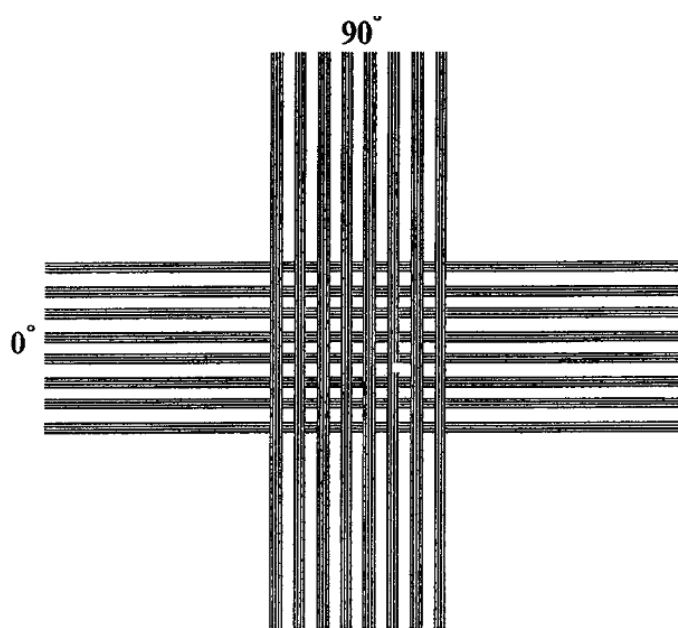
Obr. 2: Závislost efektivita na čase při rostoucím teple vlákna oceli o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6W. Efektivita přeměny elektrické energie stoupá, až dosáhne 100%.

1.2 Samozahřívací sloučeniny polymerů:

Zahřívání v nepřetržitých vláknech sloučeniny polymerů může být dosaženo následujícími metodami.

- a) Vložení nízkých měrných elektrických odporu do mezivrstev (například uhlíková vláknová rohož) mezi přilehajícími pláty u složeného zhotovení a použití mezivrstvy jako topný článek.
- b) Použití vodivých posilujících vláken (například nepřetržitá uhlíková vlákna), poskytnou složenou vodivost a působí jako celkový složený topný článek.
- c) Použití interlaminární meziplochy mezi přilehajícími pláty vodivých posilujících vláken (například nepřetržitých uhlíkových vláken), působí jako topný článek.

Způsob a) je nejběžněji používaný, vhodný totiž pro širokou škálu směsí, kde posilující vlákna jsou vodivá nebo nevodivá. Způsob b) není vhodný, protože je zde potřeba použít uhlíkové vlákna s relativně nízkým měrným elektrickým odporem a taková vlákna jsou relativně drahá. Způsob c) zahrnuje inovační pohled na tuto problematiku, kde se využívá interlaminárních meziploch mezi přiléhajícími pláty vodivých vláken, což dovoluje, aby rozhraní sloužilo jako topný prvek. Meziplocha mezi dvěma vodivostními pláty může být uspořádána tak, aby poskytovala dvojrozměrné pole topných článků. U x-y mřížky znázorněné na obr. 3. Tím je umožněno teplo, se distribuovat po velmi malé tepelné ploše pro každý topný článek zvlášť.



Obr. 3: Matice uhlíkových vláken polymeru – maticového složení zahrnujících 2 diagonálních plátů

Jestliže použijeme pro aplikaci typ směsi a), tak to znamená použití pórovité rohože, zahrnující krátká uhlíková vlákna a malý podíl organického pojiva použitého pro mezivrstvu. Krátká uhlíková vlákna v rohoži jsou náhodně orientována ve dvou rozměrech. Tyto rohože jsou vyrobeny mokřím formováním, podobně jako v papírnictví. Na rohoži jsou potom vidět uhlíkové vlákna a velikost měrného elektrického odporu začíná na hodnotě $0,11 \Omega \text{cm}$ s tepelnou stálostí až do 205°C . Pokusy byla dokázána účinnost jako u odporového topného článku.

To znamená, že vyvine teplotu až 134 °C při počáteční teplotě 19 °C při maximálním výkonu 6,5 W a s časovou konstantou do 106 s, za kterou dosáhne poloviny maximálního zvětšení teploty. Během počátečního období rychlé zvětšení teploty (5 sekund) je až 3,8 J. Efektivita přeměny energie je téměř 100 %, dokonce v prvních 5 sekundách vytápění. Rohož zahrnující kov (nikl, měď, nikl trojbarevná vrstva), která je pokryta uhlíkovými vlákny a má velikost měrného elektrického odporu 0,07 Ωcm , poskytuje sice nižší teploty (do 79 °C), ale s rychlejším teplotním růstem, do 14 s dosáhne poloviny maximálního zvětšení teploty (z počátečního stavu 19 °C).

Použití metody c) představuje použití meziplochy se dvěma diagonálními pláty nepřetržitého uhlíkového vlákna složeného do sloučeniny s epoxidem. Pro rozhraní o velikosti 5mm x 5mm a měrném elektrickém odporu 0,067 Ω . Pokud se na tento typ přivede stejnosměrný elektrický výkon o velikosti 0,59 W (3,0 A a 0,2 V) způsobí to, že maximální teplota je 89 °C (počáteční teplota je 19 °C). Čas potřebný na dosažení poloviny maximálního zvětšení teploty je 16 sekund. Efektivita přeměny energie dosahuje 100% asi po 55 sekundách přenosu tepla, kdy jsme schopni dosáhnout teplotního výstupního výkonu až $4 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$ interlaminárního rozhraní.

1.3 Srovnání samozhřívacích konstrukčních materiálů:

Tab. 1 ukazuje srovnání účinnosti různých konstrukčních materiálů určené pro vytápění, jak byly vyzkoušeny v laboratořích.

Složení uhlíkového vlákna a epoxidu interlaminárního rozhraní (6 položka v tab. 1) a Nikl/Měď/Nikl trojbarevná vrstva uhlíkové vláknové rohože (5 položka v tab. 1) jsou výjimečné pro použití, aby poskytovaly rychlé a významné teplotní odpovědi, ačkoliv jejich instalovaný výkon je malý (například pro impulzní vytápění). Uhlíková vláknová rohož (4 položka v tab. 1) je výjimečná především ve své schopnosti, aby poskytovala vysoký výkon při značném zvýšení teploty, což představuje lepší vlastnosti, než složeniny betonu s vodivou příměsí (3 položka v tab. 1) v instalovaném výkonu, teplotní kapacitě, a v dynamických parametrech. Na druhé straně je to výrazně menší než u flexibilního grafitu (7 položka v tab. 1) ve všech třech porovnávaných vlastnostech. Srovnání velikosti měrného elektrického odporu různých materiálů v tab. 1 ukazuje, že při nízkém měrném elektrickém mají konstrukční materiály dobrý topný výkon, ačkoliv i zde se vyskytují výjimky. Výjimečně velký výkon je u flexibilního grafitu přisuzován velmi nízkému měrnému elektrickému

odporu. Maximální teplota, kterou je schopen materiál vyvinout, je omezená schopností materiálu odolat takto vysokým teplotám. Flexibilní grafit se vyznačuje právě touto vlastností. Maximální teplota je u flexibilního uhlíku dána vlastností sloučeniny vydržet vysoký proud, který je potřeba k dosažení maximální teploty. Velmi malý měrný elektrický odpor, hodně pomáhá materiálu vydržet velké proudy.

Potřebný čas k dosažení poloviny maximálního zvýšení teploty, se zvyšuje s maximálním zvětšením teploty. Očekávání, že snížení reakční doby, se podaří, za pomoci snížení tepelné plochy (která souvisí s teplotní plochou a s měrným elektrickým teplem), nebo zvýšení tepelné vodivosti.

Dynamické vlastnosti sloučeniny uhlíkového vlákna a epoxidu interlaminárního rozhraní je dáno hlavně jeho malou tepelnou plochou, která je dána mikroskopickou tloušťkou rozhraní.

Dynamické vlastnosti Nikl/Měď/Nikl trojbarevné vrstvy uhlíkového vlákna a u flexibilního uhlíku jsou dány hlavně velkou teplotní vodivostí.

Výkon v tab. 1 je elektrický přiváděný výkon, který je v podstatě roven tepelnému výstupnímu výkonu po počátečním období, ve kterém se materiál sám zahřívá. Výkon spočívá ve schopnosti materiálu vydržet odpovídající elektrický proud a napětí. Tato schopnost se zlepšuje se snížením měrného elektrického odporu. Ačkoliv měrný elektrický odpor není jediným kritériem, které řídí efektivitu materiálu na vytápění, je to dominantní kritérium, zvláště pokud se týče výkonu a maximální teploty. Obecně, výběr samozahřívacího materiálu záleží na požadavcích vztahujících se k maximální teplotě, výkonu, reakční době a mechanickým vlastnostem. Pro betonové struktury sloučenin je doporučena složenina s ocelovým vláknem (1 položka v tab. 1), pro nepřetržité vláknové polymerové složeniny je doporučen jako mezivrstva uhlíková vláknová rohož (4 položka v tab. 1). Pro prostorově distribuované teplo je vhodné použití složeninu uhlíkového vlákna a epoxidu složené s interlaminárním rozhraním. Flexibilní uhlík nemůže být začleněn ve strukturálních složeninách, kvůli jeho složení, ale dá se dobře využít pro umístění na konstrukční materiál a jeho flexibilita mu dovolí přizpůsobit se podle topografie konstrukčního materiálu

Tab. 1: Účinnost vlastního ohřevu z teploty 19°C a potřebné výkony k dosažení nejvyšší teploty.

materiál	Maximální teplota (°C)	Doba potřebné k dosažení poloviny maximálního zvýšení teploty	Výkon (W)	Velikost měrného odporu (Ωcm)
Ocelové vlákno (0,7%) v betonu	60	6min	5,6	0,85
Uhlíkové vlákno (1,0%) v betonu	56	4min	1,8	100
Grafitové částice (37%) v betonu	24	4min	0,27	410
Uhlíkové vlákna (holá) v rohoži	134	2min	6,5	0,11
Ni/Cu/Ni - pokryté rohoží z uhlíkových vláken	78	14s	3	0,07
Uhlíkové vlákna epoxidové matice interlaminárního rozhraní	89	16s	0,59	
Flexibilní uhlík	980	4s	94	$7,5 \cdot 10^{-4}$

2 Řešená problematika:

2.1 Vzorky, které mám k dispozici a jejich použití:

Naše vzorky jsou dlaždice o velikosti 25 x 25 cm, tedy o ploše 625 cm². Jejich tloušťka je 1 cm, 2 cm, 4 cm a 6 cm. Na obr. 4 je na fotografii znázorněn, jak vypadá vzorek kompozitního betonu, který jsem měl k dispozici. K dispozici mám 2 typy vzorku, na kterých jsem prováděl měření a to vzorky s vláknovými příměsí a vzorky s práškovými příměsí. Vláknové vzorky jsou přehledně popsány v tab. 2 a vzorky kompozitního materiálu s práškovou příměsí jsou popsány v tab. 3.

Právě pro snížení impedance tedy zvýšení vodivosti jsou ve vzorcích kompozitního betonu vodivostní příměsí. Použití různých typů příměsí a různého procenta koncentrace příměsí v materiálu nám dá různé vodivosti jednotlivých vzorků.

Vzorky kompozitních betonu se dají použít jak na vytápění, tak i na další aplikace kterými jsou měření hmotnosti (např. projížděných vozidel) a na odstínění elektrického vedení.

Při měření hmotnosti nás zajímají, jak vzorky kompozitních betonů reagují dynamicky na zatížení, tedy jak rychle se projeví změna výstupu měřeného vzorku betonu, když se rychle změní zátěž na něm. Takovéto zatěžování simuluje průjezd nákladního auta přes váhu sestavenou z kompozitního betonu.

U použití kompozitních betonu na odstínění vodičů je potřeba, aby byly frekvenčně závislé a dokázaly tedy pohltit rušení, které vychází z elektrických vodičů.



Obr. 4: Fotka vzorku analyzovaného kompozitního betonu

Při použití na vytápění je pro nás rozhodující faktor velikost měrného elektrického odporu (impedance), kterou má určitý vzorek. Je potřeba k tomu, aby bylo možné dostat na vzorek pro vytápění dostatečný výkon.

Tab. 2: Tabulka vzorku s vláknovou příměsí, koncentrace příměsí a typy vzorku

Druh vzorku	Označení vzorku	Rozměry a dané kategorie vzorku a jejich značení							
		250x250x10mm			250x250x20mm	250x250x40mm			250x250x60mm
Sklovláknobeton	NKU (2)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
1,5% uhlíková vlákna Kreca	NKK (3)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
2% uhlíková vlákna Kreca	NKK (4)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
1,5% uhlíková vlákna Minko	NKM (5)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	
3% kovová vlákna Fibraflex	NKF (6)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
4% kovová vlákna Fibraflex	NKF (7)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60

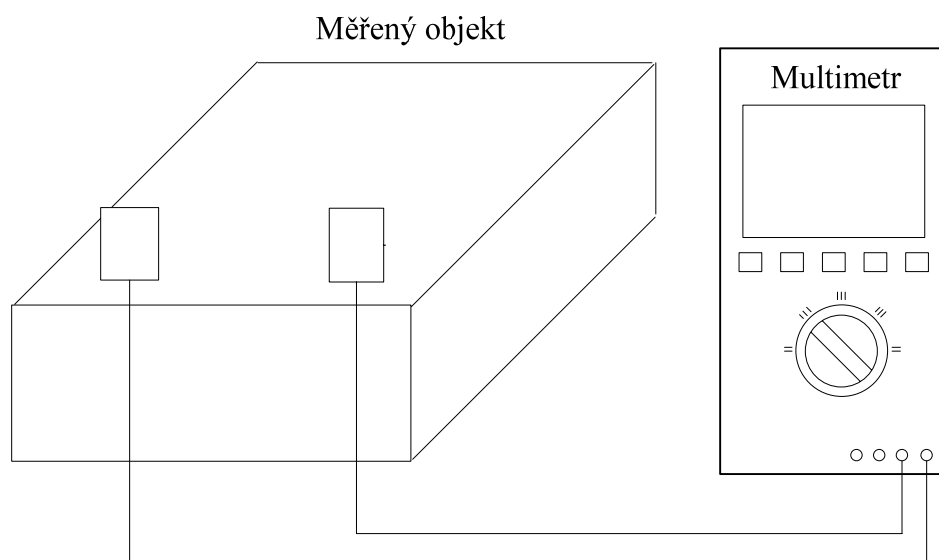
Tab. 3: Tabulka vzorku s práškovou příměsí, koncentrace příměsí a typy vzorku

Druh vzorku	Označení vzorku	Rozměry a dané kategorie vzorku a jejich značení							
		250x250x10mm			250x250x20mm	250x250x40mm			250x250x60mm
+ 10% uhlíkový prášek	NKG(8)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
+ 20% uhlíkový prášek	NKG(9)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
+ 10% mletý šungit	NKŠ(10)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
+ 15% mletý šungit	NKŠ(11)	10A	10B	10C		40A	40B	40C	
+ 20% mletý šungit	NKŠ(12)	10A	10B	10C	20A	40A	40B	40C	60
+ 10% mikromletý grafit	NKP(13)	10A	10B	10C					
+ 10% mikromletý grafit	NKP(14)	10A	10B	10C					
+10%grafitová disperze	NKD(15)	10A	10B	10C					

2.2 Měření kapacity na vzorcích:

Pro měření kapacity betonu jsem použil multimetr Agilent U1252A, který umožňuje měřit přímo kapacitu. Přístroj jsem zapojil k měřenému kompozitnímu betonu podle obr. 5, tedy na přímo a odměřil jsem všechny vzorky. Velikosti kapacit jednotlivých kompozitních betonů je uvedeno přehledně v tab. 5, která je umístěná v příloze práce.

Pro vytápění za pomoci kompozitních betonů, je nevhodné, když betony mají kapacitu, jelikož pracují jako akumulátory. Vzorky, na kterých kapacita nebyla naměřená, jsou tedy pro naše použití na vytápění použitelnější. A mnohem vhodnější.



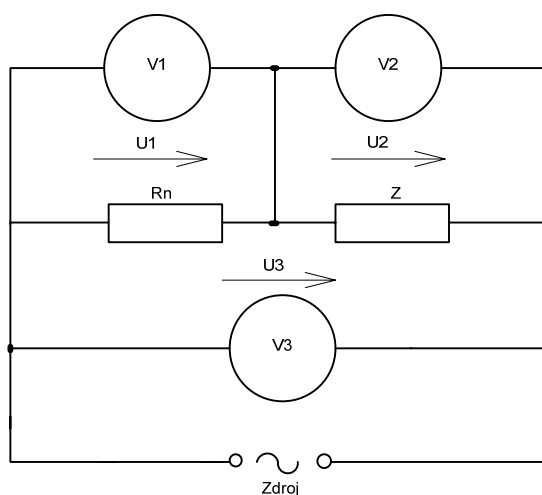
Obr. 5: Schéma zapojení multimetru při měření kapacity.

2.3 Měření impedance na vzorcích:

2.3.1 Metoda měření:

Vzorky kompozitního betonu je pro zjištění impedance nutno měřit střídavým napětím, jelikož vzorky obsahují činnou a zdánlivou složku impedance a tedy stejnosměrným napětím nezměříme celkovou impedanci, která je pro výběr vzorku kompozitu a jeho další použití nejdůležitější. Navíc u stejnosměrného měření by se mohla vyskytovat kapacita vzorku kompozitu a to by byl negativní element měření. Jelikož bylo zapotřebí měřit na předložených vzorcích kompozitního betonu střídavým napětím, rozhodl jsem si zvolit metodu měření impedance třemi voltmetry.

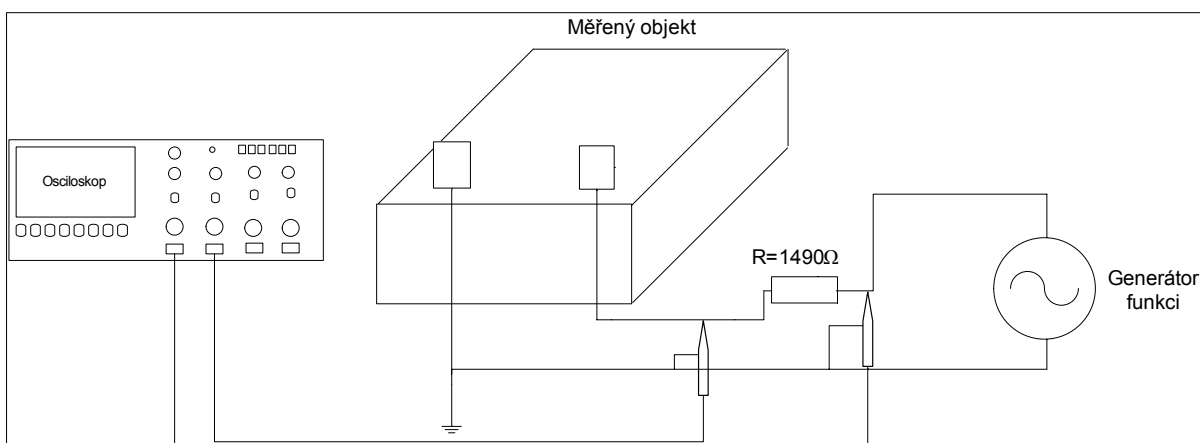
Metoda spočívá na principu, že neznámou měřenou impedanci zapojíme do série se známým odporem R_N a měříme napětí, na neznámé impedanci, na známém odporu a celkové napětí na sériové kombinaci známého odporu a neznámé impedance. Schéma zapojení je znázorněno na obr. 6. Z tohoto schématu zapojení jsem vyšel pro měření daných vzorků a schéma následně upravil tak, aby vyhovovalo použitým měřicím přístrojům, které jsem měl k dispozici.



Obr. 6: Schéma zapojení měření impedance za pomoci 3 voltmetru.

2.3.2 Vlastní měření:

Metodu tří voltmetrů jsem si upravil tak, aby vyhovovala k použití osciloskopu k měření. Využil 2 kanálový osciloskop od firmy Agilent DSO6032A. Využil jsem osciloskop proto, že jsem potřeboval měřit impedanci předložených vzorku kompozitního betonu na frekvenci. Laboratorní voltmetry od firmy Agilent, které byly k dispozici pro měření, nebyly schopny měřit do tak vysokého kmitočtu, jak jsem potřeboval pro analýzu kompozitních vzorků. Osciloskop jsem zapojil podle schéma zapojení zobrazeného na obr. 7. Hodnota odporu, který jsem použil, byla $1490\ \Omega$. Napětí na odporu jsem neměřil, jelikož pro měření pomocí osciloskopu byla potřebná jedna referenční zem, ke které se stahovalo měřené napětí pomocí sond osciloskopu. Proto pro hodnotu napětí na odporu jsem musel zvolit matematicky vypočtenou hodnotu napětí za pomoci funkce osciloskopu.



Obr. 7: Schéma zapojení při měření impedance pomocí osciloskopu.

Měření jsem podrobil vzorky kompozitního betonu tloušťky 10 mm a 40 mm. Proměřil jsem všechny vzorky této tloušťky typu B, u vláknových kompozitních vzorků. Práškové vzorky kompozitního betonu jsem změřil všechny, které jsem měl k dispozici. K dispozici k měření byly vzorky s tloušťkou 10 mm a 40 mm.

Vzorky jsem měřil od 10 kHz do 1 MHz a to ze začátku s krokem 20 kHz a od větší hodnoty okolo 500 kHz, kde již byla změna takřka lineární, jsem měřil s krokem 100 kHz. Vzorky jsem proměřil v rozmezí 10 kHz do 1 MHz, protože zde byla velká změna impedance v závislosti na frekvenci a pro lepší srovnání všech předložených vzorků kompozitních betonů.

2.3.3 Porovnání všech naměřených vzorků:

Hodnoty naměřených impedancí jednotlivých vzorků kompozitního betonu jsou přehledně seřazeny v tabulkách v elektronické formě, která je přiložena na CD. Na CD jsou také přehledně přiloženy i grafy sestavené z jednotlivých naměřených hodnot předložených vzorků. Grafy jsou umístěny ve stejném souboru, jako jsou umístěny tabulky naměřených hodnot.

Graf 5 zobrazuje všechny naměřené vzorky kompozitního betonu. Protože je vzorku hodně tak jsem je roztřídil do 2 přehlednějších skupin a to na skupinu kde jsou srovnány všechny vzorky tloušťky 40 mm a na skupinu kde jsou srovnány všechny vzorky tloušťky 10 mm. Graf 6., který je umístěný v příloze této práce zobrazuje srovnání všech vzorků tloušťky 40 mm. Graf 7., který je umístěn v příloze této práce zobrazuje srovnání všech vzorků tloušťky 10 mm. Navíc pro lepší vyhodnocení jsou všechny vzorky přehledně vyobrazeny na 2 měřících frekvencích v tab. 4. Frekvence, které jsem vhodně zvolil na hodnotě 10 kHz a 500 kHz, jsem proto, že některé vzorky s práškovou příměsí měly malou frekvenční závislost a tedy vynikly nad vzorky s vláknovou příměsí. Srovnal jsem je tedy na nejnižší frekvenci, na které jsem měřil a poté na frekvenci, kde již většina všech vzorků neměnila výrazně hodnotu impedancí vůči maximální hodnotě, co jsem naměřil.

Jak je vidět z naměřených hodnot z tab. 4 vybral jsem po 2 nejlepší vzorky s vláknovou příměsí a po 2 nejlepší vzorky s práškovou příměsí. Tyto vzorky jsou v tab. 4 zvýrazněny žlutou barvou. Vybrané vzorky jsou nejlepší vzorky, které jsem dostal pro impedanční analýzu.

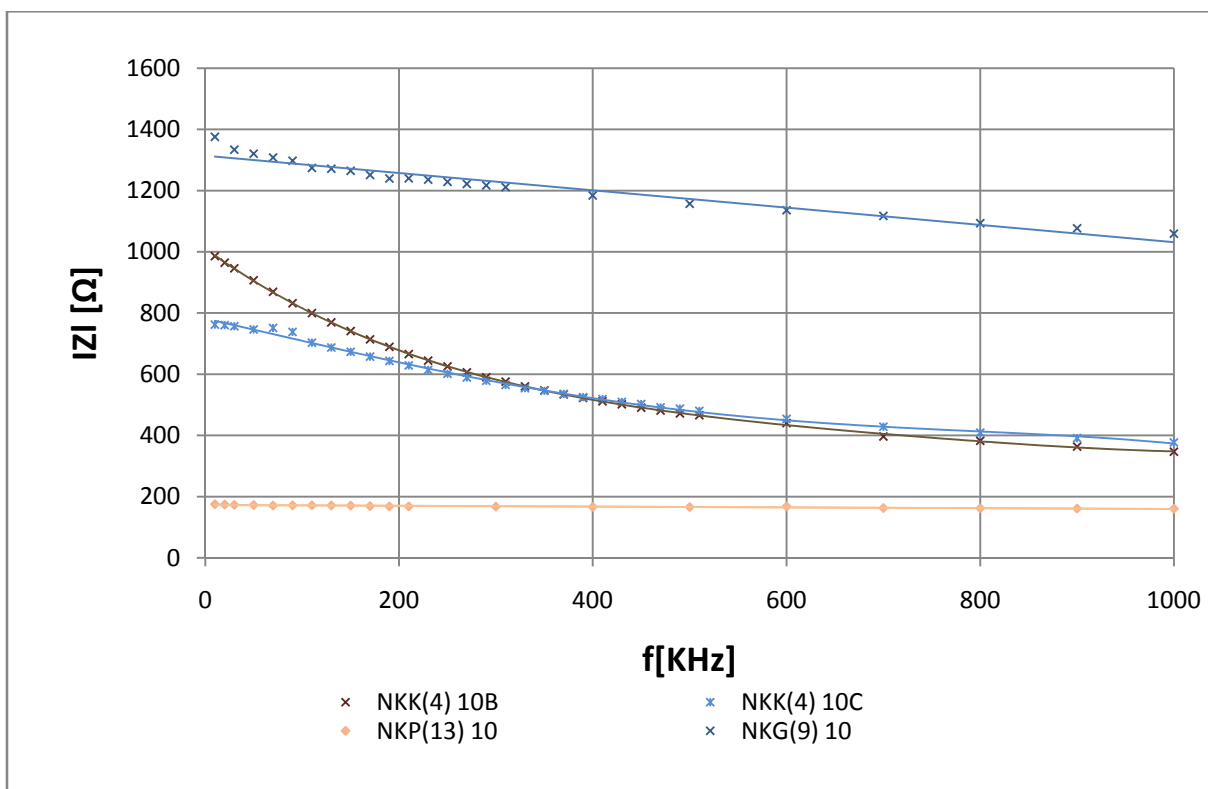
Tab. 4: Porovnání naměřených hodnot vzorku kompozitního betonu

Impedance vzorku s vláknovou příměsí			Impedance vzorku s práškovou příměsí		
Vzorek	Impedance 10 kHz	Impedance 500 kHz	Vzorek	Impedance 10 kHz	Impedance 500 kHz
	[kΩ]	[kΩ]		[kΩ]	[kΩ]
NKU 40 B	165,886	15,55	NKG(8) 40	35,149	10,012
NKK(3) 40B	10,08	1,357	NKG(9) 40	19,718	3,16
NKK(4) 40B	27,383	1,453	NKŠ(10) 40	35,451	10,844
NKM (5) 40B	162,15	8,952	NKŠ(11) 40	37,071	10,259
NKF(6) 40B	99,32	4,914	NKŠ(12) 40	37,657	8,452
NKF(7) 40B	128,448	4,247			
NKU 10B	176,352	15,592	NKG(8) 10	31,494	10,951
NKK(3)10B	17,232	1,929	NKG(9) 10	1,375	1,157
NKK(4) 10B	0,986	0,465	NKŠ(10) 10	29,418	11,47
NKK(4) 10C	0,762	0,79	NKŠ(11) 10	31,803	11,066
NKM(5) 10B	161,049	11,09	NKŠ(12) 10	28,9	10,573
NKF(6) 10B	151,037	7,445	NKP(13) 10	0,176	0,165
NKF(7) 10B	137,052	5,901	NKP(14) 10	37,665	11,277
			NKD(15) 10	33,724	13,029

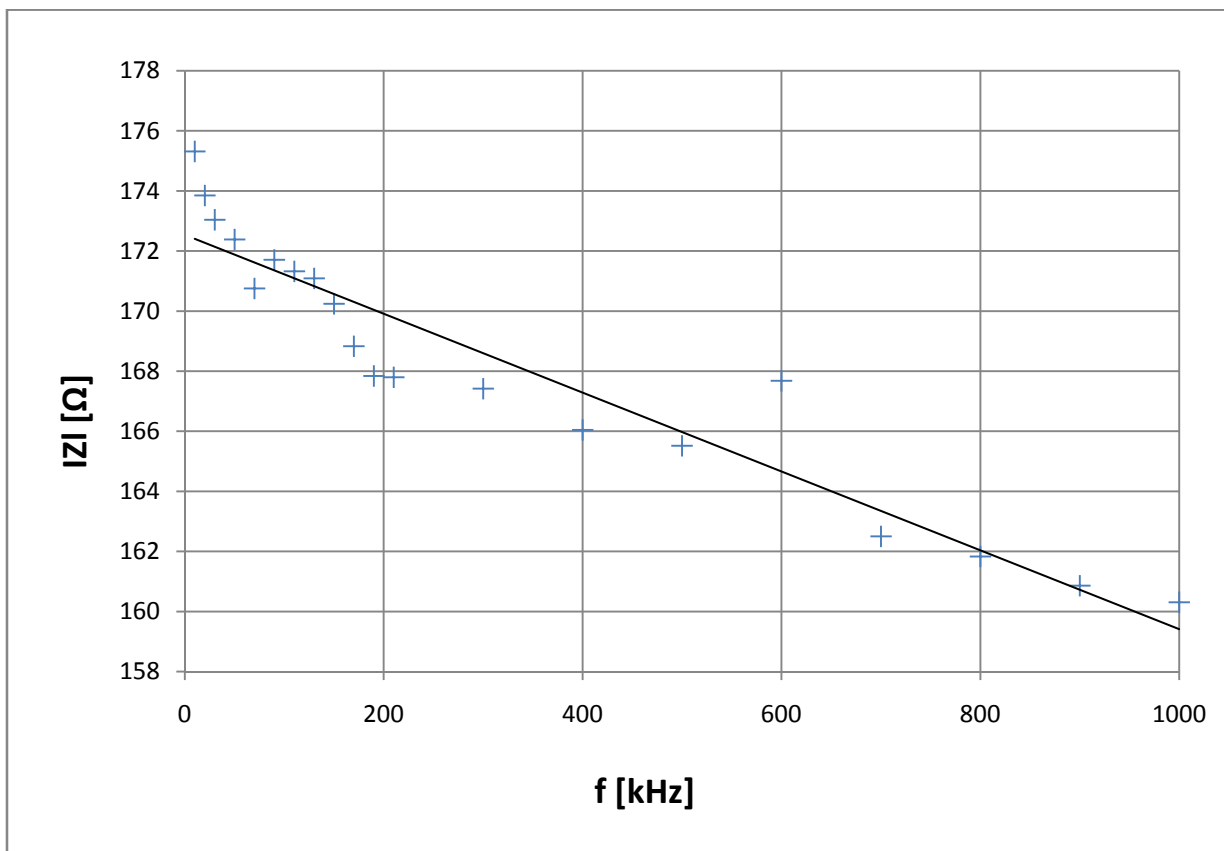
Vybrané vzorky NKK(4) 10B, NKK(4) 10C, NKG(9) 10 a NKP(13) 10 jsem porovnal navzájem. Graf 1 ukazuje, že impedance vybraných nejlepších vzorku kompozitního betonu je velice rozdílná. Průběh grafu je u vzorku s práškovou příměsí téměř lineární a závislost na frekvenci je minimální, oproti tomu u vzorku kompozitního betonu s vláknovou příměsí je závislost na frekvenci mnohem zřetelnější a také průběh klesání impedance na frekvenci je polynomický.

Graf 1 taky dobře ukazuje, že vzorek NKP(13) 10, který obsahuje 10% práškové příměsí mikromletého grafitu, má nejlepší parametry impedance a závislost impedance na frekvenci je minimální. Vzorek NKP(13) 10 jsem si nakonec vybral jako jediný, na další použití pro aplikaci řízeného vytápění a temperování kompozitního materiálu.

Graf 2 zobrazuje samostatně impedanční závislost na frekvenci vybraného nejlepšího vzorku NKP(13) 10. V příloze na konci této práce jsou v tab. 6 naměřené hodnoty vzorku NKP(13) 10.



Graf 1: Srovnání vzorku NKK(4) 10B, NKK(4) 10C, NKG(9) 10, NKP(13) 10



Graf 2: Impedanční závislost na frekvenci vzorku NKP(13) 10

2.3.4 Výpočty, které jsem použil pro impedanci z napětí

Pro výpočty impedance na vzorcích jsem využil vzorce, které se používají u metody měření třemi voltmetry. Nejprve bylo potřeba, určit proud tekoucí celou větví, kde jsou v sérii zařazeny, známy odpor o hodnotě $R_N = 1490 \Omega$ a neznáma impedance vzorku kompozitního betonu.

$$I = \frac{U_{Rn}}{R_N} \quad (1)$$

Poté jsem mohl vypočítat impedanci vzorku kompozitního betonu:

$$Zl = \frac{U_Z}{I} \quad (2)$$

Výpočet hodnoty kosinus φ ze vztahu:

$$\cos \varphi = \frac{U_C^2 - (U_{Rn}^2 + U_Z^2)}{2 * U_{Rn} * U_Z} \quad (3)$$

Jelikož teďka již znám kosinus φ tak mohu vypočítat činný odpor ze vztahu:

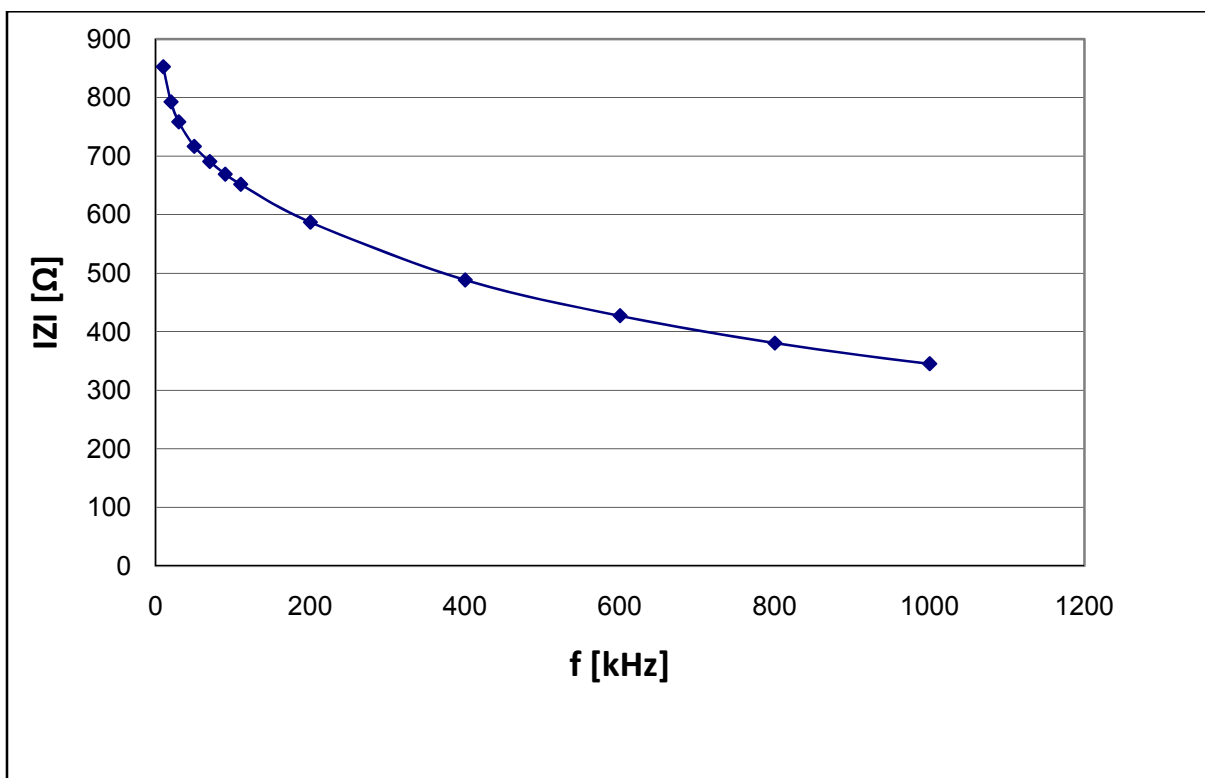
$$R\check{c} = Zl * \cos \varphi \quad (4)$$

Za použití následujícího vztahu získám zdánlivý odpor:

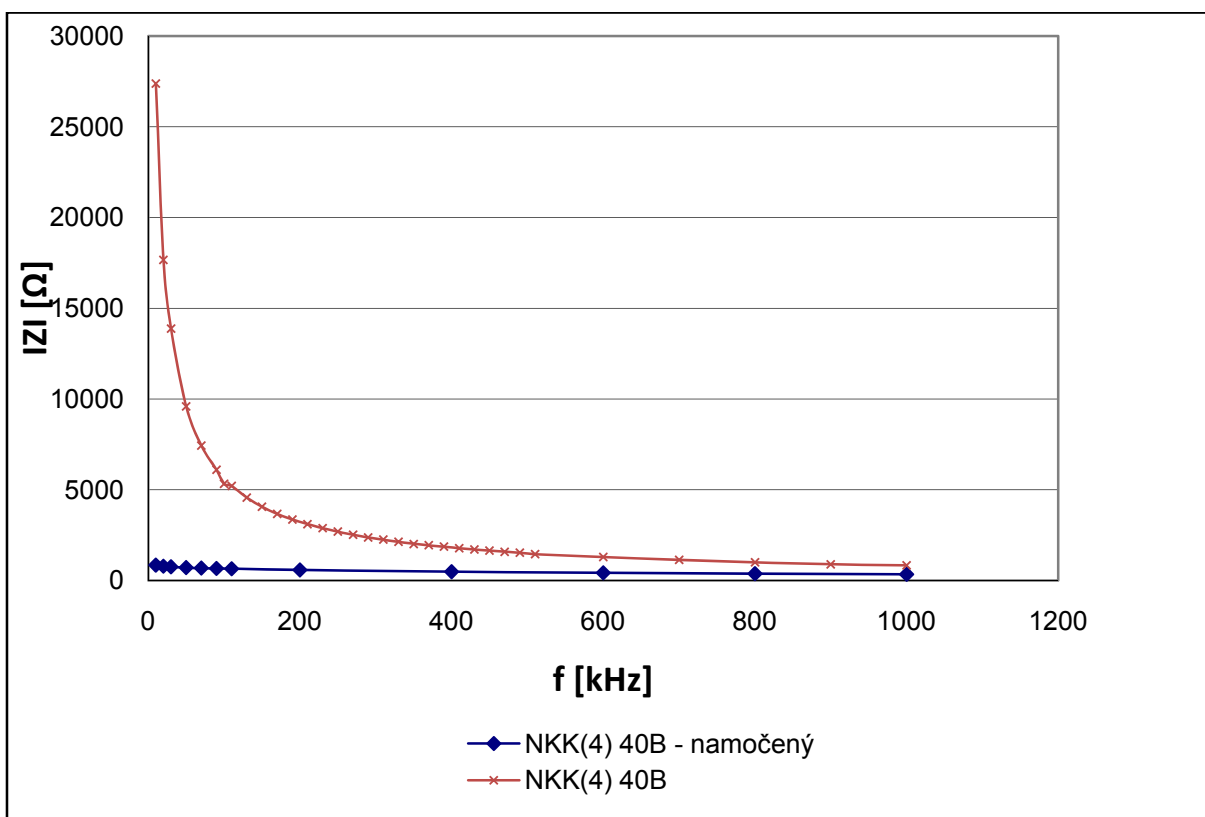
$$X = Zl * \sin \varphi = Zl * \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (5)$$

2.3.5 Měření impedance na namočeném betonu a porovnání se suchým:

Pokus s namočeným vzorkem kompozitního betonu jsem provedl na vzorku kompozitního betonu NKK(4) 40B, tedy vláknového typu. Ten jsem poléval vodou asi po dobu 5 minut, poté jsem počkal okolo 10 minut a začal měřit závislost impedance na frekvenci. Tabulka naměřených hodnot je umístěná v příloze na konci práce v tab. 7. Graf 3 zobrazuje závislost naměřené impedance na frekvenci. Graf 4 zobrazuje porovnání průběhu impedance v závislosti na frekvenci suchého a namočeného vzorku. Jak plyne z tohoto grafu, má namočený beton větší vodivost, což znamená, že má menší měrný odpor. Měrný elektrický odpor se zmenšil několika násobně u namočeného vzorku kompozitního betonu, což je patrné z grafu. Ovšem vzorky kompozitu s práškovou příměsí na vodu nereagují tak jak vzorky s vláknovou příměsí. Vzorky s práškovou příměsí na vodu nereagují.



Graf 3: Závislost impedance na frekvenci pro vzorek NKK(4) 40B-namočený



Graf 4: Porovnání impedance na suchém a mokřém vzorku NKK(4) 40B

2.3.6 Shrnutí naměřených a vypočtených hodnot:

Ze srovnávacích grafů (graf 5 graf 6 graf 7), které jsou umístěny v příloze na konci práce, je patrné, že většina vzorků kompozitního betonu s práškovou příměsí má průběh závislosti impedance na frekvenci lineární a většina vzorku kompozitního betonu s vláknovou příměsí má průběh impedance na frekvenci s polynomickou závislostí.

U všech vzorků se ze vzrůstající frekvencí snižují impedance. U některého vzorku je snižování impedance nepatrné, hlavně u práškových. U jiných je závislost impedance na frekvenci velká a naprosto zřetelná, myslí se hlavně vláknové typy vzorku kompozitu. Vzorek NKP(13) 10, který jsem si vybral jako nejlepší má pro další použití ze všech analyzovaných vzorků nejmenší impedanci a jeho závislost impedance na frekvenci je lineární a taky minimální. Jelikož na vytápění a temperování je potřeba, aby impedance byla, co nejnižší je vzorek NKP(13) 10 nejlepší volbou.

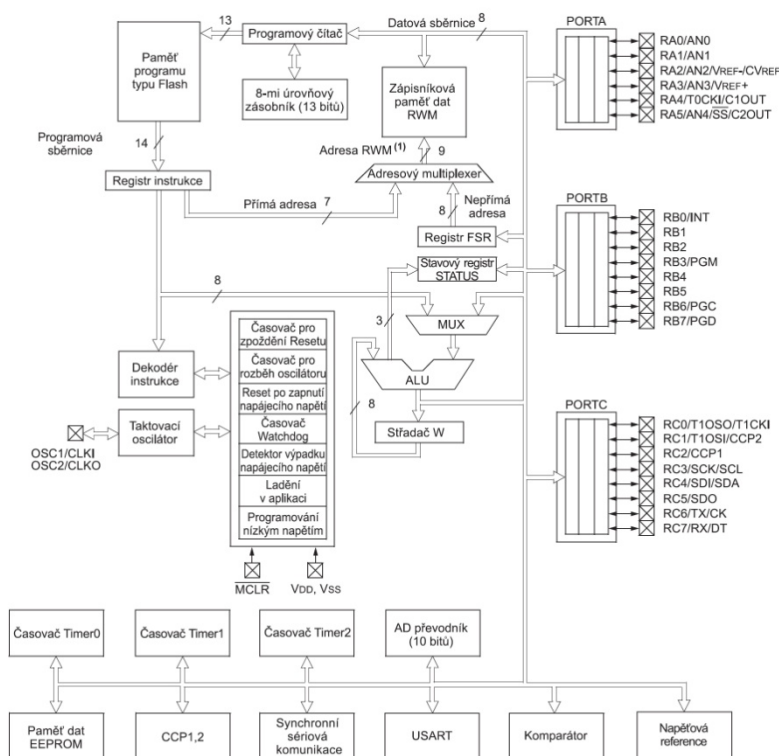
Graf 5, který je umístěn přílohách na konci práce ukazuje, že u vzorků s vláknovou příměsí je velká frekvenční závislost a ani takto velká frekvenční závislost vzorku kompozitu, není schopna dosáhnout na malé impedance tak, aby se daly vzorky kompozitu využít pro mou aplikaci. U ostatních vzorku s práškovou příměsí je z grafu patrné, že použití jiného typu vodivostní příměsí, než je 10% mikromletého grafitu nevede k dobrému výsledku. Je tedy patrné, že skoro všechny vzorky s práškovou příměsí mají taky velkou impedanci.

3 Návrh řídicí jednotky pro vytápění a temperování

Při návrhu řídicí jednotky jsem vyšel v naměřených hodnot analyzovaných vzorků kompozitního betonu. Napájecí signál, který je přiveden na vzorek kompozitního betonu z výstupu řídicí jednotky, je střídavého napětí o frekvenci 10 kHz.

3.1 Volba mikroprocesoru

Nejprve bylo zapotřebí si zvolit vhodný mikroprocesor, který bude plnit požadované funkce. Mikroprocesor jsem vybral od firmy Microchip. Vybral jsem si tedy mikroprocesor PIC 16F876A. Tento mikroprocesor má 28 vývodů, z čehož jsou 2 kompletní porty a 1, který má jen 6 vstupně výstupní pinů. Dále má procesor 14 různých zdrojů přerušení a 5 vstupů pro AD převodník s maximálním rozlišením 10 bitů. Paměť Mikroprocesoru PIC 16F876A je: paměť programu Flash je o velikosti 8kb, paměť dat RWM je o velikosti 368b a paměť dat EEPROM je o velikosti 256b.



Obr. 8: Blokové schéma mikroprocesoru PIC 16F876A

Na obrázku obr. 8 je popsána vnitřní bloková struktura mikroprocesoru PIC 16F876A.

Mikroprocesor PIC 16F876A jsem si vybral hlavně proto, že jeho součástí je výstup PWM, tedy obsahuje pulsní šířkovou modulaci. Výstup pulsní šířkové modulace je využíván k regulaci topného výkonu, který je přiváděn na vzorek kompozitního betonu.

3.2 Konstrukce řídicí jednotky

Když jsem si vybral vhodný mikroprocesor, který mi vyhovoval, pro použití v mé práci, zbývalo mi už jen vybrat koncový stupeň, čili zesilovač. Zesilovač má za úkol zesilovat PWM výstup z mikroprocesoru a dodávat dostatečný výkon pro vytápění a temperování vybraného vzorku kompozitního betonu.

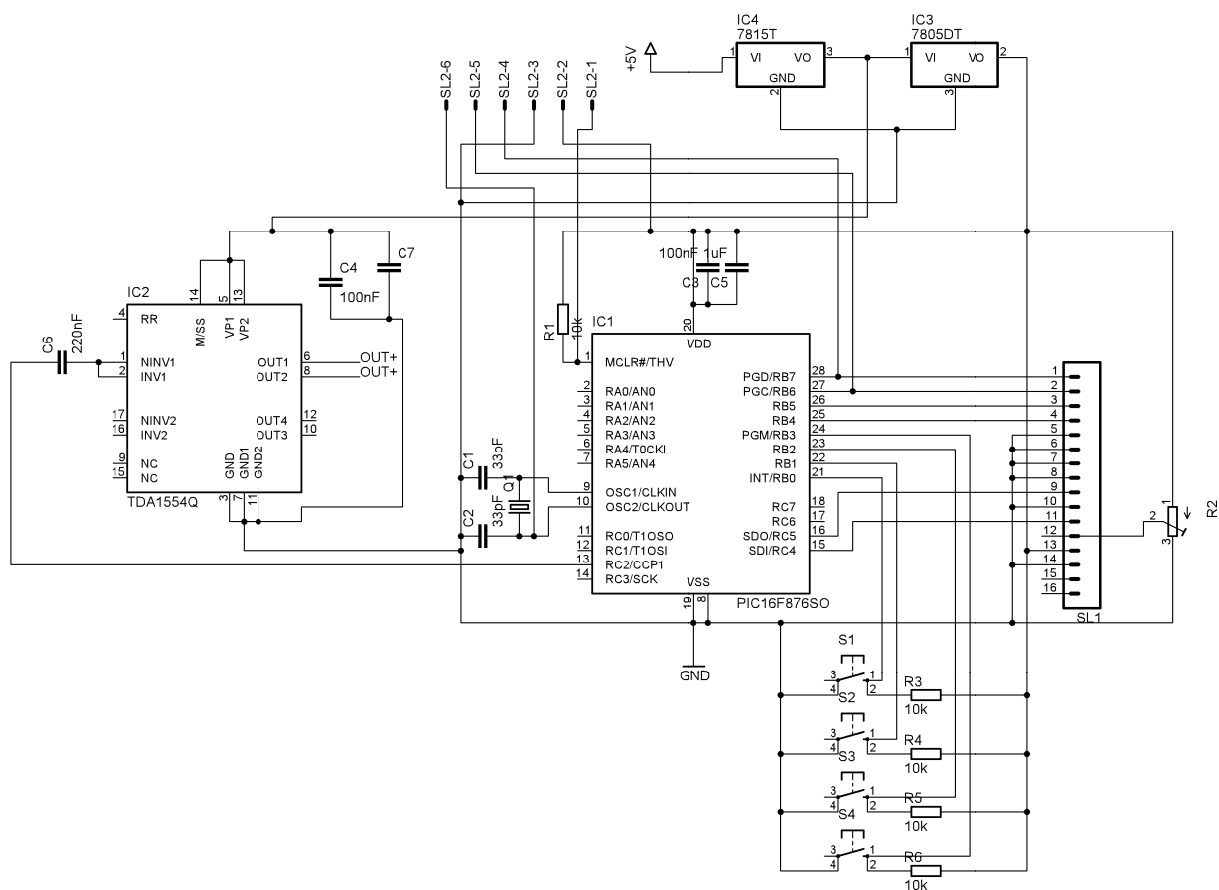
Pro získání dostatečného topného výkonu jsem musel navrhnout řídicí jednotku pro vytápění s výkonným zesilovacím stupněm. Navržená řídicí jednotka musela být v souladu s platnými elektrotechnickými předpisy a normami. Především s normou ČSN 332000-4-41, která uvádí, že malé bezpečné napětí přímého dotyku pro střídavé napětí je 50 V v normálním prostředí. Při návrhu řídicí jednotky pro vytápění a temperování kompozitního betonu jsem musel vzít v potaz výše popsanou normu ČSN a nepřekročit malé bezpečné střídavé napětí. Vybral jsem si tedy zesilovač TDA 1554Q, který disponuje výkonem 2x22 W. V mém případě takový výkon plně postačuje, jelikož předpokládaný potřebný příkon kompozitního betonu na vytápění a temperování je okolo 150 W/m². Vyjdu-li z předpokládaného příkonu potřebného pro vytápění na metr čtvereční. Jelikož rozměr vzorku kompozitního betonu je 25x25 cm. Odpovídá, že se do metru čtverečního vejde 16 těchto vzorků kompozitního betonu. Proto je předpoklad, že pro vytápění vybraného vzorku kompozitního betonu bude potřeba 9,5 W.

Řídicí jednotka bude tedy osazena mikroprocesorem PIC16F876A, výkonovým stupněm TDA1554Q a pro lepší přehlednost zde bude umístěn LCD display s 2x16 znaky.

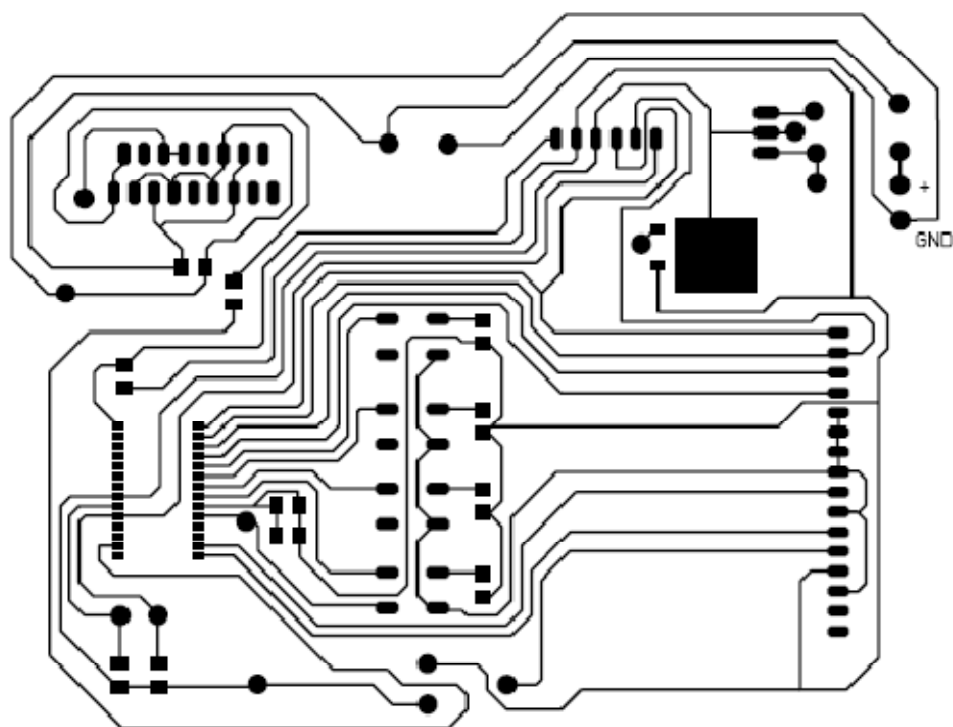
Schéma zapojení navržené řídicí jednotky je zobrazena na obr. 9.

Funkce řídicí jednotky je taková, že si uživatel zvolí zapnutí a vypnutí výstupu, respektive vytápění pomocí konfiguračních kláves, které jsou enter, zpět, nahoru a dolů. Konfigurační klávesy jsou připojeny na piny procesoru 21 až 24. Po zapnutí si uživatel po proběhnutí vítací obrazovky v menu volí zapnutí či vypnutí vytápění. Tato funkce ovládá 13

Programové vybavení pro řídicí jednotku jsem napsal v programu assembler a program je přiložen na cd.

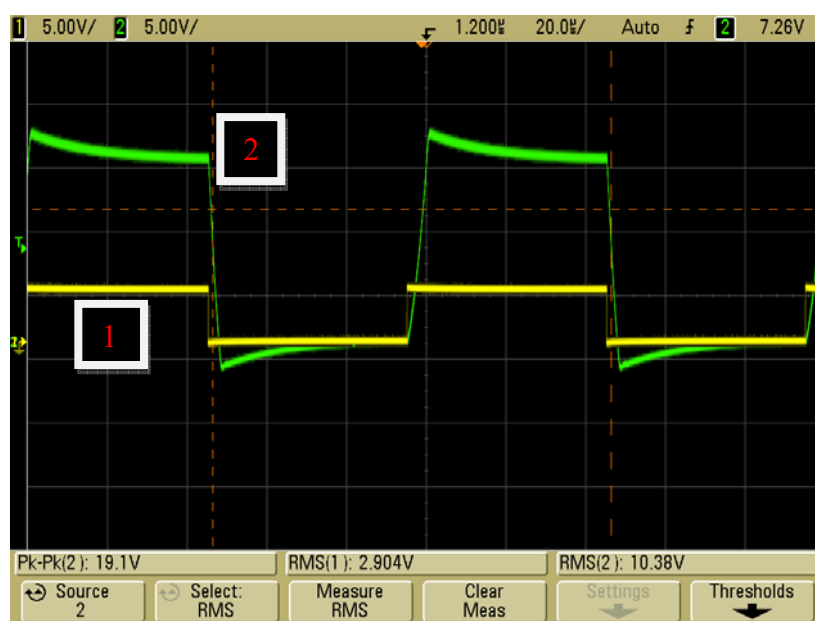


Na obrázku obr. 10 je zobrazeno, jak vypadá deska plošného spoje pro navrženou řídicí jednotku řídicí jednotku. Deska plošných spojů je jednostranná a je osazena jak vývodovými, tak i SMD součástkami.



Martin Fajkus 2008

Obr. 10: DPS navržené řídicí jednotky



Obr. 11: 1 - výstup z PWM modulace na mikroprocesoru, 2 - výstup ze zesilovače TDA 1554Q po zesilení signálu

3.3 Funkce řídicí jednotky:

Na obr. 11 jsou zobrazeny výstupy z mikroprocesoru a ze zesilovače TDA 1554Q. 1 – je zobrazení výstupu z pulsně šířkové modulace, kterou generuje mikroprocesor na výstupu číslo 13. Generované napětí obdélníkového průběhu a jeho velikost amplitudy a frekvence je pevně stanovený. Rozsah generovaného napětí je od 0 V do 5V a generované napětí je o frekvenci 10 kHz. Výkon se dá regulovat pomocí mikroprocesoru. V programu se změnění střídá generovaného obdélníkového signálu. Pokud se střídá zmenší, sníží se výstupní výkon, pokud se střídá generovaného obdélníkového signálu zvětší, výkon se zvýší. Na obr. 11 je tento průběh popsán žlutou barvou. 2 – je zobrazen výstup po zesílení výstupu z mikroprocesoru. Je zde vidět, že zesilovač TDA 1554Q signál zesílí dostatečně, ale bohužel zesilovač není schopen nezkreslit výstup. Zkreslení výstupu je ale minimální a pro moje použití mi i takový výstup postačuje, protože pro napájení vzorku kompozitního betonu není potřeba přesného obdélníku. Průběh je na obr. 11 popsán zelenou barvou. U napájení vzorku kompozitního betonu je akorát za potřebí dostatečného výkonu, který je potřeba pro napájení.

4 Závěr:

Cílem práce bylo zvolit vhodnou metodu měření, analyzovat vzorky kompozitního betonu, vybrat ze vzorku kompozitu použitelné vzorky pro můj typ aplikace, a to vytápění a temperování vzorku betonového kompozitu. Poté bylo mým cílem navrhnout řídicí jednotku na vytápění a temperování vybraných kompozitních vzorků.

Zvolil jsem si metodu měření třemi voltmetry. Pomocí této metody jsem mohl změřit závislost impedance na frekvenci všech předložených vzorků kompozitního betonu, které jsem měl k dispozici. Vzorky jsem proměřil pomocí osciloskopu. Poté jsem naměřené hodnoty zpracoval a závislosti impedance na frekvenci jsem pro jednotlivé vzorky kompozitu vyvedl do grafu. Všechny naměřené data a tabulky jsou umístěny na přiloženém CD.

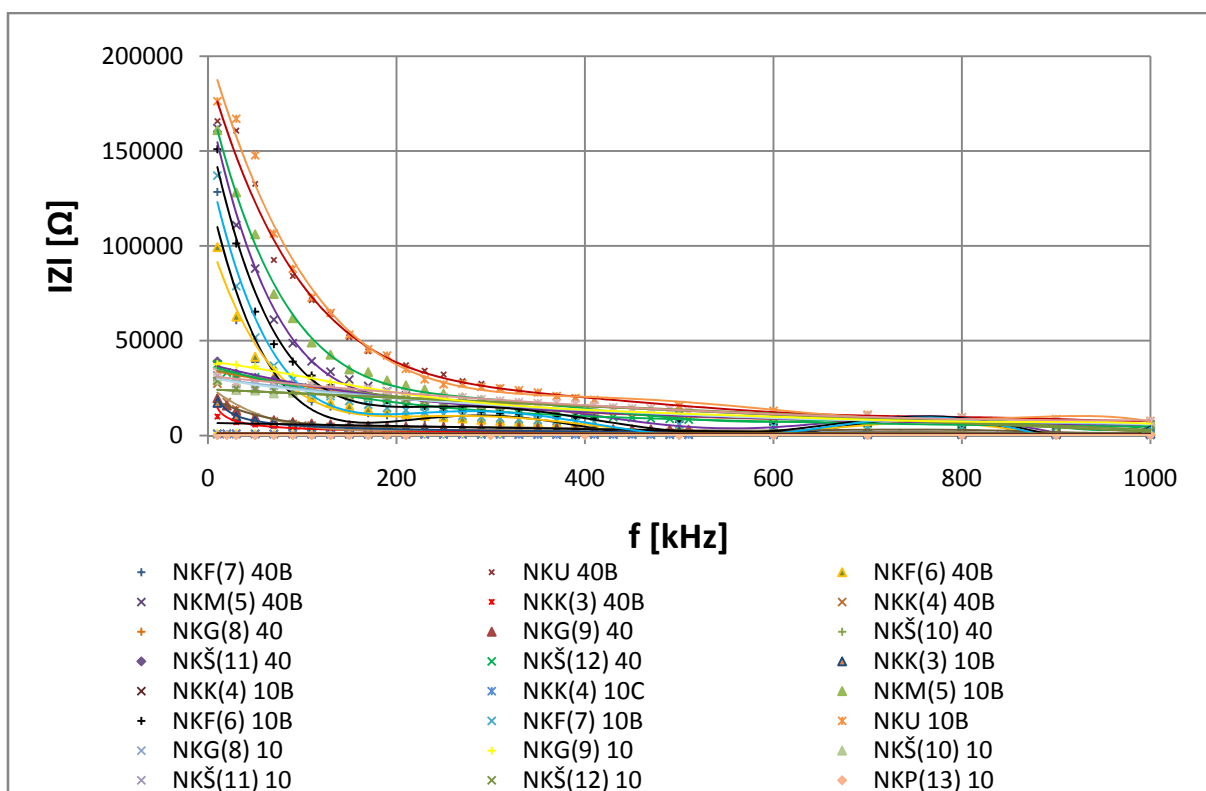
Ze všech analyzovaných vzorků kompozitu, které jsem porovnal, jsem zjistil, že vzorky kompozitu s vláknovou příměsí, mají nelineární závislost a velký měrný elektrický odpor. Vzorky kompozitu s práškovou příměsí měly oproti vzorkům vláknovým menší měrný elektrický odpor a u některých vzorků kompozitu byla závislost impedance na frekvenci lineární. Z předložených vzorků jsem vybral vzorek s nejlepšími parametry, tedy vzorek kompozitu, který měl nejmenší měrnou elektrickou vodivost. Vybral jsem tedy vzorek NKP(13) 10, který je s práškovou příměsí. Vzorek má 10 % příměsí mikromletého grafitu. Graf 2 ukazuje průběh impedance v závislosti na frekvenci vzorku NKP(13) 10.

Podle parametru vzorku kompozitu jsem navrhl optimální řídicí jednotku. Řídicí jednotku jsem osadil mikroprocesorem PIC16F876A, který obstarává veškerou komunikaci s uživatelem. Procesor také generuje signál na vytápění vzorku kompozitního betonu, který je ale ještě potřeba zesílit koncovým zesilovacím stupněm na dostatečný výkon. Zesilovací stupeň u mě obstarává zesilovač TDA 1554Q.

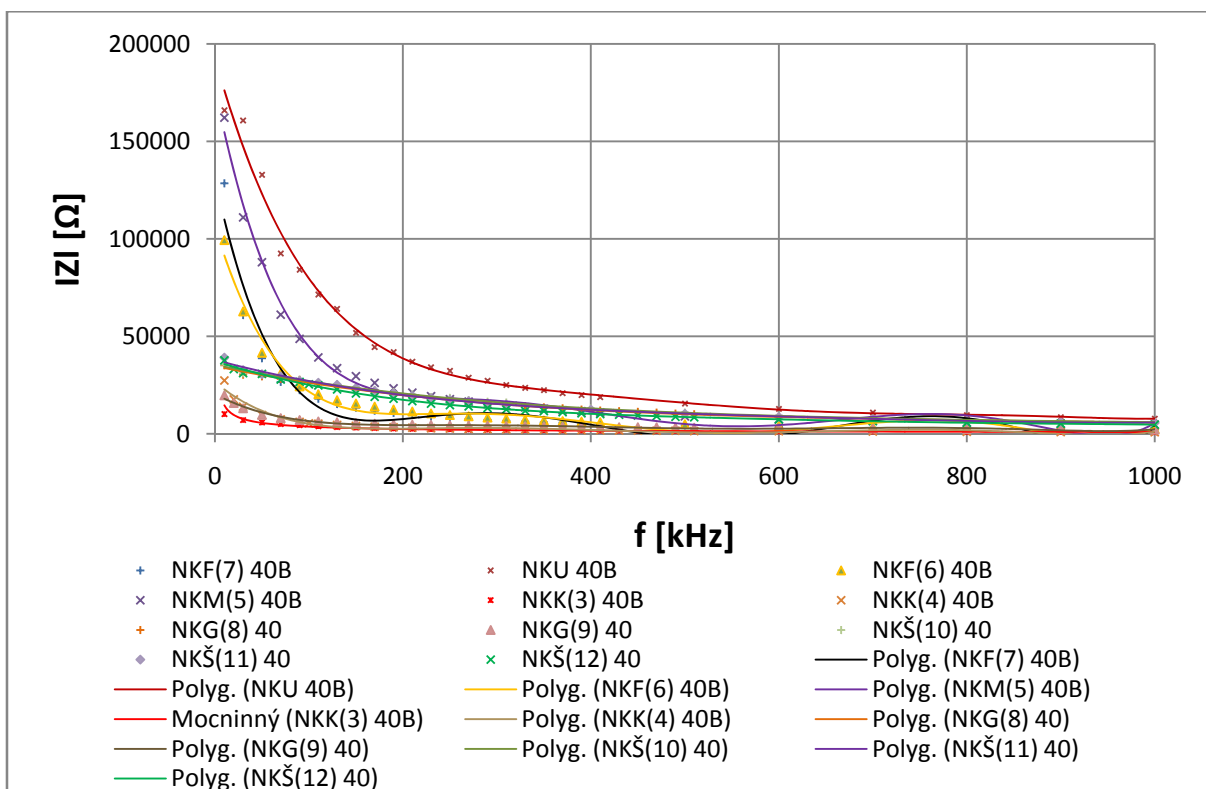
5 Použitá literatura:

- [1] KREJČÍ, Vladimír, STUPKA, Josef. *Elektrická měření*. [s.l.] : [s.n.], 1973. 448 s.
- [2] MICROCHIP. Datasheet k mikroprocesoru PIC 16F876A. [cit. 2008-2-24]. Dostupné z WWW: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>
- [3] PHILIPS. Datasheet k zesilovači TDA1554Q. [cit. 2008-2-24]. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/TDA1554Q.pdf>
- [4] VARITRANIX. Datasheet k LCD display 2x16 řádku. [cit. 2008-2-24]. Dostupné z WWW: <http://www.varitronix.com/Product/character/VL-FS-MDLS16265SS-07.pdf>
- [5] CHUNG, D D L. *Electrically conductive cement - based materials*. 2004 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/departement/eng/mae/cmrl/Electrically%20conductive%20cement-based%20materials.pdf>
- [6] CHUNG, D D L. *Cement - Based Electronics*. 2000 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/departement/eng/mae/cmrl/Cement-based%20electronics.pdf>
- [7] CHUNG, D D L. *Cement - matrix composites for smart structures*. 2000 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/departement/eng/mae/cmrl/Cement-matrix%20composites%20for%20smart%20structures.pdf>
- [8] CHUNG, D D L. *Dispersion of Short Fibers in Cement*. 2005 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/departement/eng/mae/cmrl/Dispersion%20of%20short%20fibers%20in%20cement.pdf>
- [9] HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování PIC 1.díl*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 96 s. ISBN 80-7300-136-5.
- [10] HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování PIC 2.díl*. [s.l.] : [s.n.], 2007. 144 s. ISBN 978-80-7300-137-7.

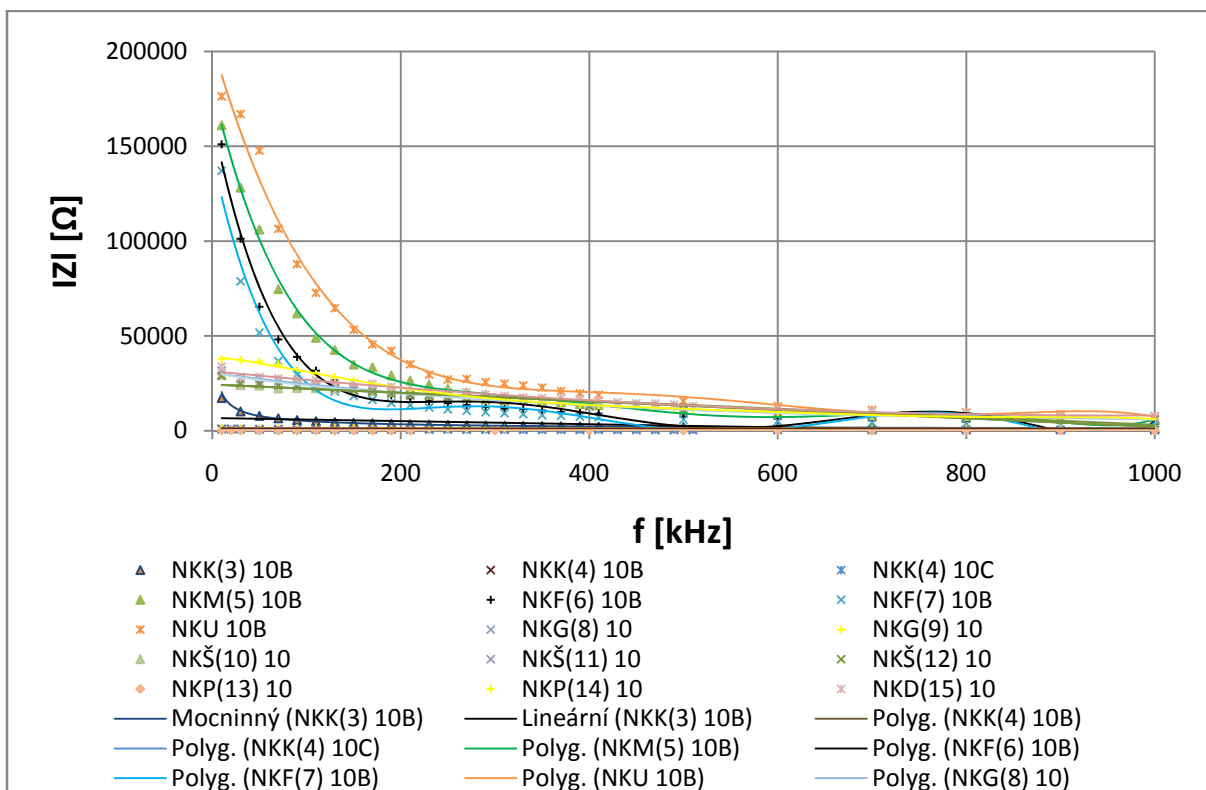
6 Přílohy:



Graf 5: Porovnání všech naměřených vzorku



Graf 6: Porovnání všech naměřených vzorku tloušťky 40 mm



Graf 7: Porovnání všech naměřených vzorku tloušťky 10 mm

Tab. 5: Změřená kapacita na všech vzorkách.

vzorek	Datum výroby:	Kapacita
		[nF]
NKK (4) 60	6,9,2007	15,2
NKF(7) 60	12,9,2007	0,266
NKU 60	3,9,2007	0
NKK(3) 60	5,9,2007	2,294
NKF(6) 60	11,9,2007	0,285
NKU 40a	3,9,2007	0
NKU 40b	3,9,2007	0
NKU 40c	3,9,2007	0
NKF(6) 40a	11,9,2007	0,141
NKF(6) 40b	11,9,2007	0,143
NKF(6) 40c	11,9,2007	0,112
NKK(3) 40a	5,9,2007	0
NKK(3) 40b	5,9,2007	0
NKK(3) 40c	5,9,2007	0
NKK(4) 40a	7,9,2007	0
NKK(4) 40b	7,9,2007	0
NKK(4) 40c	7,9,2007	0
NKM(5) 40a	10,9,2007	0,088
NKM(5) 40b	10,9,2007	0,085
NKM(5) 40c	10,9,2007	0,75
NKF(7) 40a	13,9,2007	0,185
NKF(7) 40b	13,9,2007	0,173
NKF(7) 40c	13,9,2007	0,192
NKK(4) 20a	6,9,2007	0
NKF(7) 20a	12,9,2007	0,213
NKK(3) 20a	5,9,2007	1,121
NKU 20a	3,9,2007	0
NKF(6) 20a	11,9,2007	0,123
NKK(3) 10a	5,9,2007	11,2
NKK(3) 10b	5,9,2007	11,4
NKK(3) 10c	5,9,2007	0
NKK(4) 10b	7,9,2007	0
NKK(4) 10c	7,9,2007	0
NKF(6) 10a	11,9,2007	0,08
NKF(6) 10b	11,9,2007	0,076
NKF(6) 10c	11,9,2007	0,082
NKF(7) 10a	13,9,2007	0,116
NKF(7) 10b	13,9,2007	0,132
NKF(7) 10c	13,9,2007	0,277
NKM(5) 10a	10,9,2007	0,063
NKM(5) 10b	10,9,2007	0,054
NKM(5) 10c	10,9,2007	0,0472
NKU 10a	3,9,2007	0
NKU 10b	3,9,2007	0
NKU 10c	3,9,2007	0

Tab. 6: Naměřených hodnot pro vzorek NKP(13) 10

f	U _z	U _r	U _c	R _n	I	Z	cosφ	X	Rč
[kHz]	[V]	[V]	[V]	[Ω]	[A]	[Ω]	[-]	[Ω]	[Ω]
0,05	0,511	4,325	4,814	1490	0,002903	176,0439	0,95197	53,90315	167,5885
10	0,507	4,309	4,8	1490	0,002892	175,3145	0,964787	46,11322	169,1412
20	0,503	4,311	4,801	1490	0,002893	173,8506	0,971178	41,43788	168,84
30	0,501	4,314	4,801	1490	0,002895	173,0389	0,968856	42,84875	167,6498
50	0,499	4,313	4,81	1490	0,002895	172,3881	0,995529	16,2828	171,6174
70	0,496	4,328	4,815	1490	0,002905	170,7579	0,979794	34,15297	167,3076
90	0,499	4,33	4,812	1490	0,002906	171,7113	0,962073	46,84171	165,1988
110	0,498	4,331	4,81	1490	0,002907	171,3276	0,957544	49,3915	164,0538
130	0,498	4,337	4,82	1490	0,002911	171,0906	0,966473	43,93064	165,3545
150	0,496	4,341	4,823	1490	0,002913	170,2465	0,968595	42,33096	164,8998
170	0,492	4,342	4,82	1490	0,002914	168,8346	0,968366	42,12983	163,4938
190	0,49	4,35	4,82	1490	0,002919	167,8391	0,95468	49,95475	160,2326
210	0,49	4,351	4,83	1490	0,00292	167,8005	0,975051	37,24834	163,6141
300	0,489	4,352	4,825	1490	0,002921	167,4196	0,963664	44,72078	161,3362
400	0,487	4,37	4,835	1490	0,002933	166,0481	0,949905	51,89653	157,7299
500	0,486	4,375	4,846	1490	0,002936	165,5177	0,96576	42,94135	159,8504
600	0,465	4,132	4,57	1490	0,002773	167,6791	0,935591	59,20516	156,879
700	0,479	4,392	4,855	1490	0,002948	162,5023	0,963015	43,78592	156,4921
800	0,478	4,401	4,861	1490	0,002954	161,8314	0,95833	46,22925	155,0879
900	0,476	4,409	4,862	1490	0,002959	160,8619	0,94659	51,86821	152,2703
1000	0,475	4,415	4,802	1490	0,002963	160,3058	0,796651	96,89513	127,7078

Tab. 7: Naměřené hodnoty pro vzorek NKK(4) 40B namočený

f	U _z	U _r	U _c	R _n	I	Z	cosφ	X	Rč
[kHz]	[V]	[V]	[V]	[Ω]	[A]	[Ω]	[-]	[Ω]	[Ω]
10	1,82	3,18	4,9553	1490	0,002134	852,7673	0,961556	234,1788	819,9831
20	1,745	3,28	5,006	1490	0,002201	792,6982	0,983351	144,0479	779,5002
30	1,701	3,341	5,011	1490	0,002242	758,6022	0,972581	176,4229	737,8023
50	1,641	3,412	5,027	1490	0,00229	716,6149	0,976596	154,1303	699,8434
70	1,607	3,466	5,036	1490	0,002326	690,8338	0,966423	177,5129	667,638
90	1,573	3,503	5,038	1490	0,002351	669,0751	0,965126	175,1555	645,7414
110	1,55	3,543	5,051	1490	0,002378	651,8487	0,961209	179,7925	626,5632
200	1,443	3,662	5,04	1490	0,002458	587,13	0,937605	204,1466	550,4959
400	1,274	3,887	5,043	1490	0,002609	488,3612	0,878427	233,3767	428,9895
600	1,162	4,052	5,061	1490	0,002719	427,2902	0,833057	236,3713	355,9572
800	1,068	4,183	5,076	1490	0,002807	380,4255	0,797734	229,4003	303,4783
1000	0,991	4,278	5,077	1490	0,002871	345,159	0,765723	221,996	264,2962